

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:

prof. dr. sc. Lovorka Grgec-Bermanec

Luka Vukmirović

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Projekt sustava za umjeravanje atmosferskog tlaka**

Luka Vukmirović

Zagreb, 2015.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Vukmirović**

Mat. br.: 0035177831

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**Projekt sustava za umjeravanje mjerila atmosferskog tlaka**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**Atmospheric pressure calibration system design**

Opis zadatka:

U ovom radu potrebno je projektirati sustav za umjeravanje mjerila atmosferskog tlaka. Ovisno o vrsti mjerila i načinu priključka, takva mjerila se umjeravaju u barokomorama ili spajanjem na zajednički tlačni sustav s etalonskim mjerilom tlaka, najčešće tlačnom vagom. Korištenjem mjerne opreme Laboratorija za procesna mjerenja (LPM-a) predložiti komponente mjernog sustava, opisati postupak, proračun efektivnog tlaka i procjenu mjerne nesigurnosti. Provesti barem dva umjeravanja, procijeniti mjerne nesigurnosti te predložiti poboljšanja postojeće mjerne linije.

Potrebno je izraditi:

- pregled fizikalnih osnova i metoda mjerenja atmosferskog tlaka,
- pregled metoda umjeravanja,
- mjernu liniju za umjeravanje korištenjem postojećih komponenti LPM-a,
- postupak umjeravanja i proračun mjernih nesigurnosti,
- rezultate umjeravanja sa pripadajućim mjernim nesigurnostima.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

5. svibnja 2015.

Rok predaje rada:

**2. rok:** 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:

**2. rok:** 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Lovorka Grgec Bermanec

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	6
POPIS TABLICA .....	7
POPIS OZNAKA.....	8
1. Sažetak .....	9
2. Fizikalne osnove i metode mjerenja atmosferskog tlaka .....	10
2.1. Definicija tlaka .....	10
2.2. Definicija atmosferskog tlaka.....	10
2.3. Uređaji za mjerenje tlaka.....	11
2.4. Barometri.....	11
2.4.1. Barometri u obliku U – cijevi .....	12
2.4.2. Aneroidi .....	13
2.4.3. Pretvornici .....	13
3. Metode umjeravanja.....	15
3.1. DKD-R6-1 metoda .....	15
3.1.1. Svrha i opseg primjene .....	15
3.1.2. Referentni i radni standardi .....	15
3.1.3. Pogodnost kalibracije .....	16
3.1.4. Postupak kalibracije u DKD-R6-1 .....	16
3.2. EURAMET/cg 17 metoda.....	17
3.2.1. Načela elektromehaničkih tlakomjera .....	17
3.2.2. Postupak umjeravanja u laboratoriju .....	18
4. Mjerna linija za umjeravanje .....	20
4.1. Shema i elementi mjerne linije za umjeravanje LPM-a .....	21
4.1.1. Tlačna vaga (etalon) .....	22
4.1.2. Umjeravani uređaj (ispitivano mjerilo) .....	22
4.1.4. Ostali elementi sustava .....	23
5. Postupak umjeravanja i proračun mjerne nesigurnosti .....	24
5.1. Postupak umjeravanja .....	24
5.1.1. Prva provjera.....	24
5.1.2. Ugađanje.....	25

5.1.3. Glavno umjeravanje.....	25
5.2. Proračun mjerne nesigurnosti.....	26
5.2.1. Izračun nesigurnosti.....	27
6. Rezultati umjeravanja s pripadajućim mjernim nesigurnostima.....	28
6.1. Ruska 6200.....	30
6.2. Vaisala.....	32
6.2.1. Vaisala PTB 330.....	32
6.2.2. Vaisala PTB 220.....	34
7. Zaključak.....	36
8. POPIS LITERATURE.....	37

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Živin barometar .....	11
Slika 2.2. Barometar u obliku U - cijevi .....	12
Slika 2.3. Aneorid .....	13
Slika 3.1. Shema za mjerenje apsolutnog tlaka pomoću EURAMET/cg 17 metode.....	18
Slika 4.1. Mjerna linija za umjeravanje u LPM-u.....	20
Slika 4.2. Shema mjerne linije za umjeravanje LPM-a .....	21
Slika 4.3. Osnovni dijelovi tlačne vage .....	22
Slika 6.1. Dijagram odstupanja i nesigurnosti umjeravanja u odnosu na mjereni tlak (Ruska 6200) .....	31
Slika 6.2. Dijagram odstupanja i nesigurnosti umjeravanja u odnosu na mjereni tlak (Vaisala PTB 330) .....	33
Slika 6.3. Dijagram odstupanja i nesigurnosti umjeravanja u odnosu na mjereni tlak (Vaisala PTB 220) .....	35

## POPIS TABLICA

Tablica 6.1. Vrijednosti etalonskog tlaka $p_e$ u prvom uzlaznom mjerenju .....	28
Tablica 6.2. Vrijednosti etalonskog tlaka $p_e$ u silaznom mjerenju .....	29
Tablica 6.3. Korištene (srednje) vrijednosti tlaka $p_e$ .....	29
Tablica 6.4. Rezultati umjeravanja za Ruska 6200 .....	30
Tablica 6.5. Izračunavanje nesigurnosti umjeravanja (Ruska 6200) .....	31
Tablica 6.6. Rezultati umjeravanja za Vaisala PTB 330 .....	32
Tablica 6.7. Izračunavanje nesigurnosti umjeravanja (Vaisala PTB 330) .....	33
Tablica 6.8. Rezultati umjeravanja za Vaisala PTB 220 .....	34

## POPIS OZNAKA

$p$	[Pa]	-	tlak
$A$	[m <sup>2</sup> ]	-	površina
$F$	[N]	-	sila
$p_j$	[Pa]	-	tlak u košuljici cilindra
$p_r$	[Pa]	-	tlak ispod zvona (pirani tlak)
$p_e$	[Pa]	-	tlak etalona
$u$	[bar]	-	standardna mjerna nesigurnost
$U$	[bar]	-	povećana/proširena mjerna nesigurnost
$M$	[bar]	-	srednja vrijednost mjerenog tlaka
$b$	[bar]	-	ponovljivost
$h$	[bar]	-	histereza



## 1. Sažetak

U ovom završnom radu potrebno je projektirati sustav za umjeravanje mjerila atmosferskog tlaka. Proći ćemo kroz fizikalne osnove i metode mjerenja atmosferskog tlaka. Spomenuti ćemo i uređaje kojima se može mjeriti atmosferski tlak, zatim i kroz metode (procedure) kojima je moguće umjeravanje mjerila atmosferskog tlaka. Dvije metode koje ćemo opisati su DKD-R6-1 i EURAMET/cg17. Umjeravanje se na opisane načine može provoditi u bilo kojem ispitnom i/ili umjernom laboratoriju. Za postupak umjeravanja u ovom radu koristili smo tlačnu vagu, iako to nije jedini način za umjeravanje barometara. U ovom radu prikazati ću mjernu liniju za umjeravanje korištenjem postojećih komponenti Laboratorija za procesna mjerenja (LPM-a), na kojoj sam ja radio mjerenja. Pokazati ću način na koji sam umjeravao mjerila atmosferskog tlaka, te postupak računanja mjerne nesigurnosti na barometrima od proizvođača Vaisala i Ruska, te u kojim je to uvjetima rađeno i zašto nam služi.

*In this work is necessary to design a system for calibration of atmospheric pressure. We will pass through the physical fundamentals and methods of measurement of atmospheric pressure. We will mention devices for measuring atmospheric pressure too, and then the methods which help us with calibration of atmospheric pressure. Two methods that we will describe are DKD-R6-1 and EURAMET / CG17. Calibration may be implemented in any test and/or calibration laboratory. For calibration procedure in this study we used a pressure scale, although it is not the only way for the calibration of barometers. In this article I will show the measuring line using the existing components of the Laboratorija za procesna mjerenja (LPM). I will show the way i have done measurements of atmospheric pressure, and the procedure of calculating the uncertainty of measurement for the barometers from manufacturers Vaisala and Ruska.*

## 2. Fizikalne osnove i metode mjerenja atmosferskog tlaka

### 2.1. Definicija tlaka

Tlak se definira kao normalna sila koja djeluje na jedinicu površine sustava. Za fluidne sustave (kapljevite i plinovite) tlak na površinu spremnika ili površinu mjerne membrane posljedica je kumulativnog efekta djelovanja molekula koje udaraju na stjenku spremnika, izazivajući pri tome normalnu silu na stjenku.[1]

Opća formula za računanje tlaka:

$$p = \frac{F}{A} \text{ [Pa]}$$

U SI sustavu jedinica, mjerna jedinica za tlak je paskal [Pa], a uz paskal još je zakonita jedinica bar koji je definiran  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

### 2.2. Definicija atmosferskog tlaka

Atmosferski tlak nastaje u Zemljinoj atmosferi i to zbog težine čestica zraka i njihovog djelovanja na sva tijela koja se nalaze u Zemljinoj atmosferi. Atmosferski tlak je najveći na razini mora (jer je tada stupac zraka najviši) i iznosi  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Atmosferski tlak se smanjuje povećanjem nadmorske visine, jer se tada smanjuje i stupac zraka koji djeluje iznad neke točke. Preciznim mjerenjem atmosferskog tlaka se dobivaju podaci koji su korisni u meteorologiji, te u vremenskoj prognozi, pošto on i sam ovisi o vremenskim uvjetima. Instrument za mjerenje atmosferskog tlaka se zove barometar.

Standardna jedinica za mjerenje atmosferskog tlaka naziva se fizikalna atmosfera definirana je kao  $1 \text{ Atm} = 1,01325 \text{ bar}$ .

## 2.3. Uređaji za mjerenje tlaka

Uređaji za mjerenje tlaka dijele se po sljedećim osobinama:

1. Po vrsti mjernog tlaka:

- barometri (za mjerenje atmosferskog tlaka)
- manometri (za mjerenje pretlaka ili apsolutnog tlaka)
- mikromanometri
- vakummetri (za mjerenje podtlaka)

2. Po principu djelovanja:

- sa tekućinom
- klipni
- električni
- kombinirani

3. Po stupnju točnosti i području primjene:

- radni
- kontrolni
- etalonski

## 2.4. Barometri

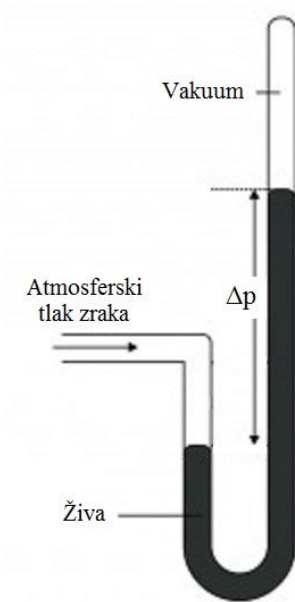
Barometri su prvenstveno namijenjeni za određivanje atmosferskog tlaka zraka. Konstrukcije barometra mogu biti različite, na slici 2.1. je najjednostavnija izvedba barometra. U mjerenjima se najčešće upotrebljavaju barometri u obliku U – cijevi ili barometri sa elastičnim tijelima (aneroidi). U suvremenim je uređajima omogućeno električno ili elektroničko mjerenje pretvaranjem tlaka u električne veličine i takvi barometri ulaze u skupinu pretvornika.



Slika 2.1. Živin barometar

#### 2.4.1. Barometri u obliku U – cijevi

Barometar u obliku U – cijevi je slične izvedbe, te radi na istom principu, kao i živin barometar i vidi se na slici 2.2. Cijev je napunjena živom tako da se u dužem kraku iznad žive nalazi zrakoprazan prostor, a na površinu žive u kraćem kraku djeluje atmosferski tlak. Tlak zraka određuje se tako što se na skali očitava visina stupca žive u obim krakovima. Težina stupca žive, kojemu je visina jednaka razlici pročitanih visina (na slici 2.2. označeno sa  $\Delta p$ ), mjera je za tlak zraka. Kako težina stupca žive ovisi o njezinoj temperaturi i o geografskoj širini mjesta, treba dobivenu razliku visine stupca žive korigirati.

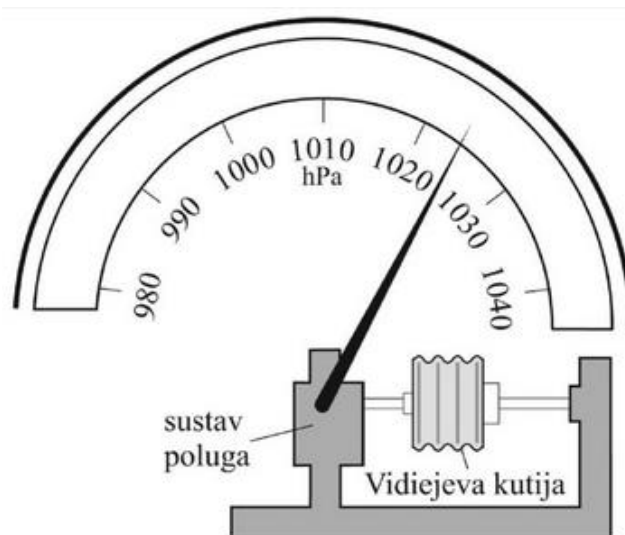


Slika 2.2. Barometar u obliku  
U - cijevi

Živa se najčešće upotrebljava kao tekućina za barometre u obliku U – cijevi, jer je njezina gustoća tako velika da cijev može biti kratka, a tlak zasićenja živinih para je kod normalnih temperatura, tako malen da ga možemo zanemariti. Zbog toga su takvi barometri vrlo precizni.

### 2.4.2. Aneroidi

Aneroid (slika 2.3.) je instrument za mjerenje tlaka zraka. Izumio ga je Lucien Vidie 1843. godine; sastoji se od jedne ili više šupljih kutija kružnog presjeka, od tankog i valovitog lima, iz kojih je isisan zrak i u kojima se nalazi opruga. Promjene tlaka zraka mijenjaju ravnotežni položaj deformiranih kutija i elastične opruge, a dobiveni se pomaci preko poluga povećavaju i prenose na kazaljku ispod koje se nalazi ljestvica s naznačenim vrijednostima tlaka zraka.[2]



Slika 2.3. Aneorid

Kasnije su uvedene i naznake za meteorološko stanje vremena, tako bi na području oko 990 hPa pisalo kišovito, na području oko 1100 hPa pisalo promjenjivo, a na zadnjem području oko 1300 hPa bi pisalo vedro. Aneroid također može biti baždaren u jedinicama visine pa se koristi kao altimetar (visinomjer).

### 2.4.3. Pretvornici

Pretvornik je uređaj koji pretvara signale iz jednog oblika u drugi (u našem slučaju iz analognog u digitalni), uz poznat odnos između ulaznog i izlaznog signala. Pri tome je vrlo bitan odnos između ulazne i izlazne veličine, pa se značajke pretvornika opisuju nizom parametara kao što su

mjerno područje, osjetljivost, razlučivost, selektivnost, točnost, preciznost, stabilnost, linearnost, histereza, brzina odziva, i sl.[3] Veliku skupinu pretvornika u tehničkim sustavima čine mjerni pretvornici. To su ulazni elementi mjernoga sustava koji mjerenu veličinu pretvaraju u oblik pogodan za obradbu. Dio mjernoga pretvornika koji dolazi u izravni dodir s mjerenom veličinom naziva se mjerni osjetnik.

### **3. Metode umjeravanja**

Dvije metode koje ćemo spomenuti u ovom radu su DKD-R6-1 i EURAMET/cg17. Te dvije metode imaju najširu upotrebu, jer nisu definirane kao norme, nego su definirane kao postupci umjeravanja.

#### **3.1. DKD-R6-1 metoda**

DKD (Deutscher Kalibrierdienst) obuhvaća laboratorijske kalibracije u industrijskim poduzećima, te u istraživačkim i ispitivačkim institutima. Takvi instituti i poduzeća mogu kalibrirati mjerne instrumente u mjernom području koje je specificirano u okviru njihovog ovlaštenja.

##### **3.1.1. Svrha i opseg primjene**

Smjernice zadane u DKD-R6-1 služe za uspostavljanje minimalnih uvjeta za metode kalibracije i procijene mjerne nesigurnosti kod kalibracije barometara i ostalih tlakomjera. Ova metoda umjeravanja se odnosi na Bourdonove cijevi, te električne pretvornike za apsolutni i atmosferski tlak, te za podtlak i pretlak.

##### **3.1.2. Referentni i radni standardi**

Kalibriranje se odvija izravnom usporedbom mjerenih vrijednosti, koje služe kao kalibracijski podaci, sa onim referentnim vrijednostima koje su zadane i određene prema nekom nacionalnom standardu. Referentni standardi su oni standardi koji su određeni pomoću tlakomjera koji imaju jako veliku stabilnost, kao tlačne vage ili barokomore. Takvi tlakomjeri su kalibrirani u posebnim laboratorijima i na sebi imaju označen razred točnosti i u kojim su uvjetima umjeravani, to tada postaju referentni uvjeti. Kad se kalibracija odvija izvan referentnih uvjeta, korekcije dobivenih vrijednosti se određuju pomoću posebno određenih računskih postupaka. Mjerna nesigurnost se također mora uzeti u obzir i računa se zadanim postupkom te se upisuje u proračun nesigurnosti.

Radni standardi dokumentirani su za kvalitetnu upotrebu DKD metode umjeravanja, kalibrirani su u akreditiranom laboratoriju, i u radnim standardima su potvrde u kojima je određena mjerna nesigurnost za referentne uvjete. Radni standardi podliježu odobrenju prema nacionalnim standardima i mogu biti različiti u odnosu na vrstu ispitivanja ili kalibriranja.

### 3.1.3. Pogodnost kalibracije

Rukovanje kalibracijskim zadatkom pretpostavlja se preko pogodnosti kalibracije, odnosno prikladnosti stanja okoliša u kojem je kalibracijski uređaj. Stanje okoliša mora biti stabilna sobna temperatura s dopuštenom greškom  $\pm 1$  Kelvin. Sobna temperatura mora biti između 18°C i 28°C. Nekada se uzima u obzir i gustoća zraka te relativna vlažnost zraka ako je u zahtjevima propisano da temperatura nije dovoljna kontrola za pogodnost kalibracije.

Također stanje kalibracijskog uređaja u vrijeme umjeravanja mora biti u skladu sa općeprihvaćenim pravilima i tehničkim specifikacijama koje je proizvođač odredio. Prije umjeravanja moraju se ispitati sljedeće stavke :

- Vizualni pregled vanjskih oštećenja i
- Čistoća uređaja i čitljivost indikacija
- Pregled dostavljene dokumentacije koja se zahtjeva za umjeravanje
- Električna funkcija uređaja
- Čvrstoća spojeva

### 3.1.4. Postupak kalibracije u DKD-R6-1

Tlakomjer se kalibrira u cjelini uzimajući u obzir kasnije mjesto i visinu postavljanja tlakomjera, kalibrira se tako da su mjerne točke jednako raspoređene po cijelom mjernom području. Ovisno o ciljanoj mjernoj nesigurnosti može se napraviti jedno ili više serija mjerenja, ako ih je više mjeri se principom uzlazno-silazno-uzlazno itd. Usporedba između mjerenih vrijednosti za kalibrirani uređaj i referentnih ili radnih standarda se određuje na dva načina. Prvi način je podešavanje tlaka



u skladu sa naznakom kalibracije, a drugi način je podešavanje tlaka u skladu sa zadanim standardom. Vremenski razmak između dva mjerenja bi trebao biti barem 30 sekundi. [4]

### **3.2. EURAMET/cg 17 metoda**

Ova metoda je vezana za kalibraciju elektromehaničkih tlakomjera. Smjernice u ovoj metodi korisnicima elektromehaničkih tlakomjera pružaju osnove za neophodno uspostavljanje i primjenu postupaka umjeravanja. On ne obuhvaća manometre s obročnom ljestvicom jer za taj tip mjerila postoje norme.

#### **3.2.1. Načela elektromehaničkih tlakomjera**

Ova metoda se bavi sa tri tipa elektro mehaničkih tlakomjera:

- Pretvornicima tlaka
- Transmitterima tlaka
- Manometrima s digitalnim ili analognim pokazivanjem

Pretvornici tlaka pretvaraju mjereni tlak u analogni električni signal koji je razmjern primjenjenome tlaku. Kako bi se osigurala njihova funkcija pretvornici tlaka trebaju neprekidno napajanje stabilizirano na razinu povezanu s očekivanom nesigurnošću tlaka. Transmitter tlaka općenito je jedinica koja se sastoji od pretvornika tlaka i modula za obradbu i pojačanje signala s pretvornika. Za rad transmittera tlaka potrebno je neprekidno električno napajanje koje ne treba biti posebno stabilizirano. Manometri s digitalnim pokazivanjem se sastoje od pretvornika tlaka, modula za analognu obradbu signala, analognog digitalnog pretvornika, modula za digitalnu obradbu, digitalnog pokazivanja (u jedinicama koje je specificirao proizvođač) te jedinice za električno napajanje (koja je općenito uključena). Manometri s analognim pokazivanjem se sastoje od pretvornika tlaka, modula za analognu obradbu signala, modula za analognu pokazivanje, te jedinice za električno napajanje.

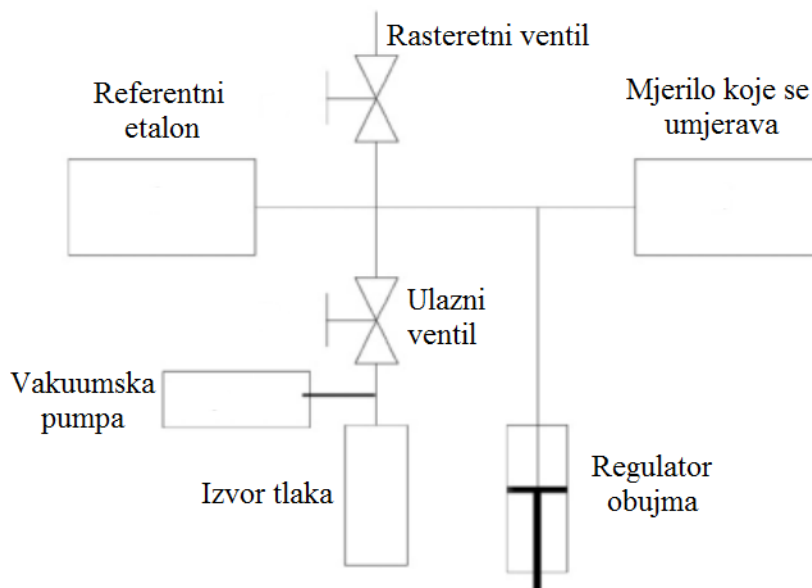
### 3.2.2. Postupak umjeravanja u laboratoriju

Prije početka umjeravanja u umjernom laboratoriju treba uključiti opremu kako bi se dostigla toplinska ravnoteža cijelog sustava. Opremu treba zaštititi od izravne sunčeve svjetlosti te treba očistiti mjerilo. Mjerilo koje se umjerava treba postaviti što je bliže moguće referentnom etalonu. Treba osigurati da referentne razine tlaka obaju mjerila budu što je bliže moguće i uzeti u obzir razinu referentnog tlaka kad se izračunavaju ispravci i nesigurnosti.

Postupak umjeravanja treba, ako je to prikladno, u skladu sa zahtjevom korisnika omogućiti određivanje histereze, linearnosti i ponovljivosti mjerila koje se umjerava. Primijenjeni postupak ovisi o očekivanoj točnosti mjerila u skladu sa zahtjevom korisnika. Tri su metode umjeravanja:

- Temeljni postupak umjeravanja
- Normirani postupak umjeravanja
- Cjeloviti postupak umjeravanja

Referentno mjerilo koje služi za umjeravanje mora biti sljedivo prema nacionalnim ili međunarodnim etalonima, te Njegova nesigurnost mora biti bolja (ako je to praktično moguće) od nesigurnosti mjerila koje se umjerava, njihov omjer općenito treba biti veći ili jednak od 2.

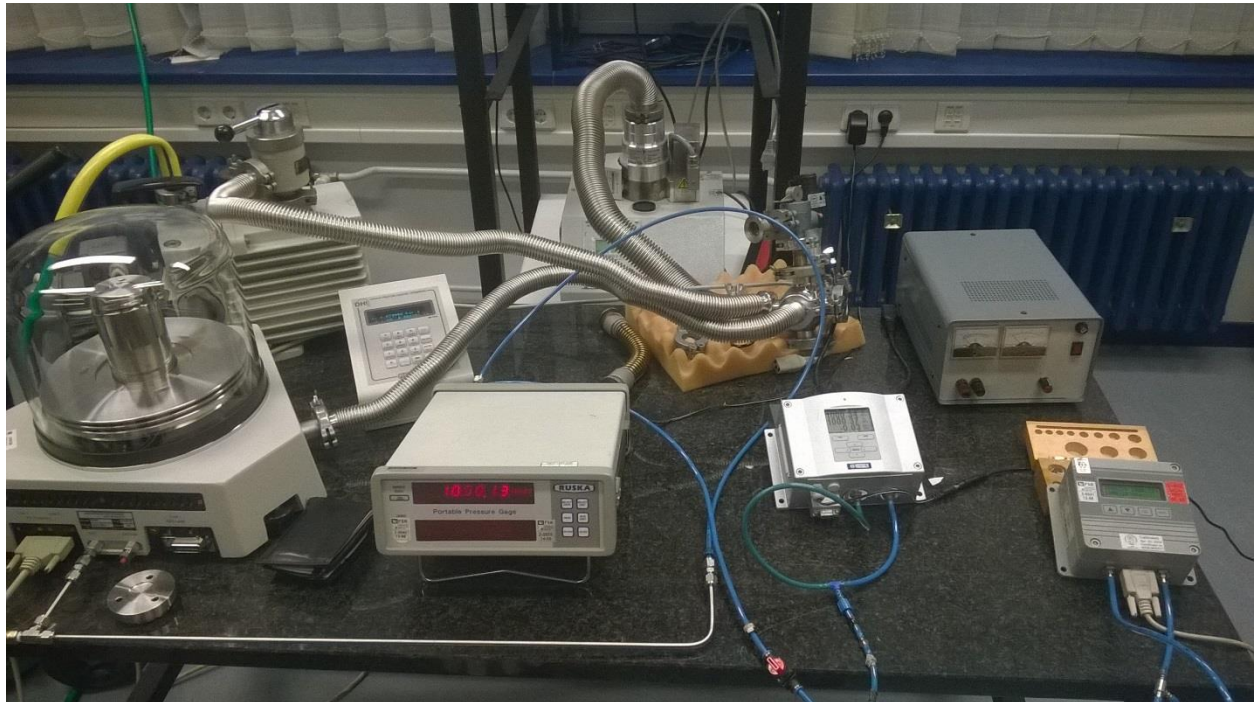


Slika 3.1. Shema za mjerenje apsolutnog tlaka pomoću EURAMET/cg 17 metode

Kako bi se osigurala kakvoća plina vakuumska se pumpa mora opremiti s priborom kao što su zamke (traps) i ventili za odvajanje. U slučaju da su apsolutni tlakovi znatno veći od atmosferskoga tlaka prihvatljiva je uporaba referentnog etalona za manometarski tlak i referentnog etalona za mjerenje tlaka. Primjenjiva je shema (slika 3.1.) koja se preporučuje za manometarske tlakove. Vrijednost apsolutnoga tlaka dobiva se zbrajanjem vrijednosti tlakova izmjerene s pomoću dvaju referentnih etalona. [5]

## 4. Mjerna linija za umjeravanje

Mjerna linija za umjeravanje (slika 4.1.) na kojoj sam obavljao mjerenja se nalazi u istočnoj zgradi Fakulteta strojarstva i brodogradnje u sklopu Laboratorija za procesna mjerenja (LPM). U mjerenjima mi je pomogao asistent Joško Zelko.



Slika 4.1. Mjerna linija za umjeravanje u LPM-u

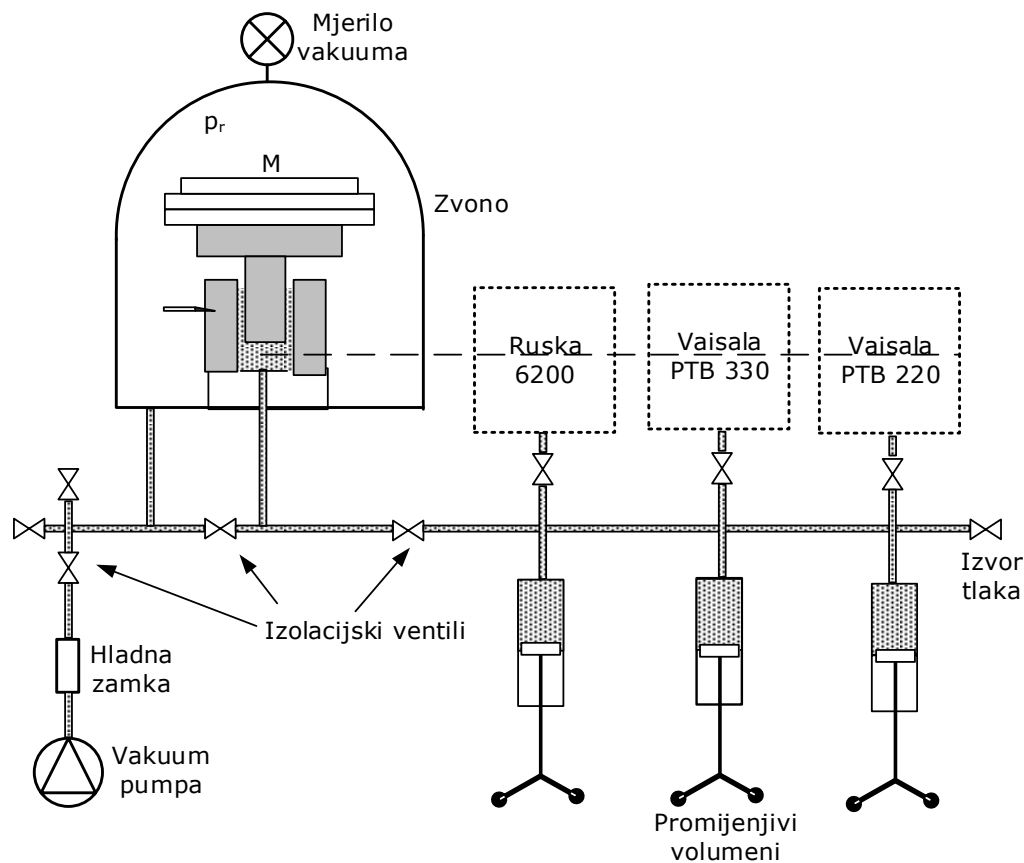
Pomoću mjerne linije za umjeravanje umjeravamo ili kalibriramo mjerni uređaj. Osnovna svrha umjeravanja mjernih uređaja je uspostavljanje veze između vrijednosti koje uređaj pokazuje i nacionalno ili međunarodno priznatih standarda za mjerne veličine, odnosno osigurati da očitavanje uređaja što točnije i što pouzdanije održava mjerenu veličinu. Tvrtke koje se bave upravljanjem kvalitetom ulažu značajne resurse u umjeravanje.

Umjeravanje se vrši u akreditiranom umjetnom laboratoriju koji rezultate dokumentira u potvrdi o umjeravanju (certifikatu). Korisnik uređaja raspoređuje raspon pogreške sa granicama

određenim za mjerni uređaj, i u slučaju da je raspon pogreške izvan dopuštenih granica, uređaj se dodatno ugada, servisira ili zamjenjuje. U slučaju da je raspon pogreške u nominalnim granicama uređaj se koristi normalnim očitavanjem sa skale/pokazivača.

#### 4.1. Shema i elementi mjerne linije za umjeravanje LPM-a

Mjerna linija se sastoji od etalona, koji je u slučaju LPM-a na Fakultetu strojarstva i brodogradnje tlačna vaga, izolacijskih ventila, vakuum pumpe, hladne zamke, izvora tlaka, dodatnog regulatora koji je promjenjivog volumena, cijevi koje spajaju elemente mjerne linije, te umjeravanog uređaja. Shema sa tim elementima je prikazana na slici 4.2.

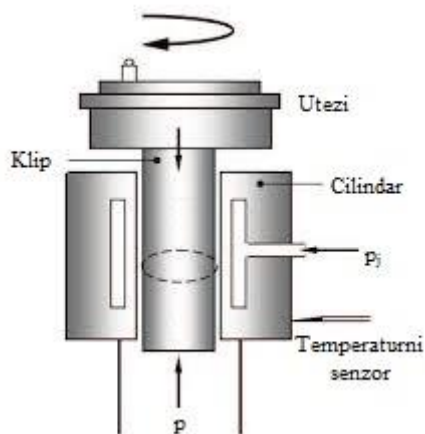


Slika 4.2. Shema mjerne linije za umjeravanje LPM-a

#### 4.1.1. Tlačna vaga (etalon)

Tlačne vage predstavljaju jedno od najtočnijih mjerila tlaka. Najčešće se koriste kao etaloni za umjeravanje različitih vrsta mjerila tlaka. Tlačna vaga se sastoji od sklopa klip/cilindar, sustava za ostvarivanje vertikalne sile na klip te sustava za generiranje tlaka u radnom fluidu. Najvažniji dio svake tlačne vage je sklop klip/cilindar. Sklop klip cilindar je izrađen s najfinijim strojarskim tolerancijama i od materijala koji može izdržati visoka dinamička tlačna opterećenja u elastičnom području na svojoj karakteristici naprezanja  $\sigma$  i deformacije  $\varepsilon$ .

Slika 4.3. prikazuje osnovne dijelove tlačne vage (klip, cilindar, temperaturni senzor i utezi) koji se nalaze ispod staklenog zvona u kojem je vakuum (uređaj skroz lijevo na slici 4.1.). Tlak  $p$  koji se mjeri djeluje samo na bazu klipa, a tlak  $p_j$  je tlak u košuljici cilindra.



Slika 4.3. Osnovni dijelovi tlačne vage

#### 4.1.2. Umjeravani uređaj (ispitivano mjerilo)

Uređaji koje smo umjeravali su barometri, oni se nakon umjeravanja upotrebljavaju za mjerenje atmosferskog tlaka. Ja sam u svojim mjerenjima umjeravao 3 vrste uređaja, dva uređaja su bila od proizvođača Vaisala, a jedan od proizvođača Ruska. Mjerno područje kod obje Vaisale je 500-1100 hPa, dok je mjerno područje Ruske 0-2600 hPa.

#### 4.1.3. Vakuum pumpa

Vakuum pumpa se u mjernoj liniji za umjeravanje koristi kako bi se ispod zvona na tlačnoj vagi dobio vakuum (zrakoprazan prostor). Princip rada vakuumske pumpe je jednostavan, pumpajući iz cilindra izbacuje se zrak (snižava se tlak) te se stvara vakuum. Kako je nemoguće dobiti savršeni

100%-ni vakuum, određeni tlak ostaje ispod zvona, naziva se tlak pirani, mjeri se mjerilom vakuuma, i označen je s  $p_r$  na slici 4.2. Tlak pirani se mjeri te se upisuje i kasnije se ubacuje u proračun za mjernu sigurnost.

#### 4.1.4. Ostali elementi sustava

U ostale elemente sustava ulaze izolacijski ventili koji nam služe za određivanje kroz koje će cijevi prolaziti zrak, i pod kojim tlakom. Cijevi u sustavu služe za provođenje zraka pod određenim tlakom, one moraju imati dobro svojstvo nepropusnosti kako ne bi dolazilo do pada tlaka prolaskom kroz njih. Uređaj s promjenjivim volumenom služi za regulaciju umjeravanog uređaja.

Hladna zamka

## **5. Postupak umjeravanja i proračun mjerne nesigurnosti**

### **5.1. Postupak umjeravanja**

Kao što je i ranije navedeno u radu prije početka umjeravanja treba provjeriti jesu li svi uređaji koji nam trebaju za umjeravanje ispravni. Prije samoga umjeravanja mora se vizualno provjeriti da je mjerilo u dobrom radnom stanju, a posebno se mora obratiti pozornost na kakvoću električnih kontakata, te čistoću mjerila. Uz ove dvije najbitnije provjere preporuča se da utvrde referentne razine, te se razlika između njih smanji na što manju vrijednost. Postoje neki uređaji koji su posebno osjetljivi na moment i kod njih je bitno pratiti posebne upute od proizvođača.

U slučaju kad umjeravano mjerilo ima više izlaza, dovoljno je provesti umjeravanje samo za izlaze koje je specificirao korisnik. Za umjeravanje u ovom radu smo koristili dvije Vaisale iz LPM-a koje imaju dva izlaza i mjerenja koja smo radili očitavali smo sa oba izlaza.

Neovisno o mjerilu koje se umjerava i primjenjenom postupku umjeravanja, umjeravanje se radi u tri uzastopna koraka:

1. Provjerom ograničenog broja tlakova u mjernome području kako bi se odredilo početno mjeriteljsko stanje mjerila
2. Ugađanje mjerila u skladu sa specifikacijom proizvođača
3. Odgovarajućim umjeravanjem mjerila u cijelom mjernom području ili rasponu

Svaka od tih radnja, posebno ugađanje mjerila mora se provoditi samo u dogovoru s korisnikom te se ona mora navesti u potvrdi o umjeravanju.

#### **5.1.1. Prva provjera**

Za određivanje dugoročnoga klizenja mjerila potrebno prije bilo kakva mogućeg ugađanja korisniku dati određene podatke o njegovu stanju. Ako korisnik ne zahtijeva potpuno umjeravanje prije ugađanja, preporučuje se da se mjerilo uključi i da se barem dvaput dovede do njegove gornje granice tlaka te da se taj tlak održava barem jednu minutu. Preporuča se i da se tijekom prvoga



povećanja tlaka provjeri sukladnost sa specifikacijom dobivenoga pokazivanja te da se očitaju pokazivanja mjera na 0 %, 50 % i 100 % njegova mjernog raspona.

### 5.1.2. Ugađanje

Ugađanje se provodi ako odziv mjera nije u skladu s uobičajenim odzivom te se provodi prema zahtjevima korisnika. Ovisno o sposobnostima umjernog laboratorija takav se postupak mora provoditi sredstvima koja su normalno dostupna korisniku (potenciometrima za namještanje ništice i punoga raspona ljestvice, nekad s potenciometrom za namještanje srednje vrijednosti) te s uređajima za unutrašnje ugađanje mjera (potenciometrima, krivuljama umjeravanja itd.) u skladu s podacima sadržanim u tehničkom opisu, nakon dogovora s korisnikom.

Postupak ugađanja pretpostavlja detaljno znanje specijaliziranih rukovoditeljskih postupaka i zahtijeva, te sredstva umjeravanja bolja od mjera koje se umjerava. Ako mjerilo ima oznake na ljestvici koje su korisne korisniku (npr. ureze umjeravanja, obnovu krivulje umjeravanja), preporučuje se da se ti elementi odrede kako bi se dali u potvrdi o umjeravanju.

### 5.1.3. Glavno umjeravanje

Primijenjeni postupak umjeravanja odabire se u skladu s mjernom nesigurnošću koja se očekuje za mjerilo koje se umjerava. Za svaku točku umjeravanja moraju se odrediti sljedeći podaci:

- tlak koji pokazuje referentno mjerilo ili elementi potrebni za izražavanje stvarno izmjenjenog tlaka (naprimjer vrijednosti masa i temperature za tlačnu vagu)
- pokazivanje mjera koje se umjerava
- vrijednosti utjecajnih veličina (temperature, atmosferskoga tlaka)
- parametre za identifikaciju mjera koje se umjerava
- podatke o mjerilima uključenim u mjerni sustav i/ili mjerilu koje se upotrebljava za mjerenje izlaznog signala.[6]

## 5.2. Proračun mjerne nesigurnosti

Mjerna nesigurnost je brojčani iskaz kvalitete mjernog rezultata. Iskazuje se standardnom devijacijom (standardna mjerna nesigurnost,  $u$ ) ili višekratnikom standardne devijacije (povećana/proširena mjerna nesigurnost,  $U$ ). Mjerna nesigurnost određuje raspon vrijednosti unutar kojega očekujemo da se nalazi prava vrijednost mjerene veličine. Uzroci odstupanja najbolje procjene mjerene veličine od prave vrijednosti mnogobrojni su. Mogu se podijeliti na slučajna odstupanja i sistematska. Prema metodi procjenjivanja komponente nesigurnosti se mogu razvrstati u dvije grupe A-procedura (A-tip) i B-procedura (B-tip).

Glavni elementi koje treba uzeti u obzir pri određivanju nesigurnosti rezultata umjeravanja elektromehaničkog barometra su:

1. Za pretvornik ili transducer tlaka:
  - a. nesigurnost referentnog mjerila u uvjetima uporabe
  - b. nesigurnost zbog ponovljivosti
  - c. nesigurnost zbog reverzibilnosti (histereze) mjerila koje se umjerava
  - d. nesigurnost mjerila koja se upotrebljavaju tijekom umjeravanja (mjerila napona, struje, frekvencije itd.)
  - e. nesigurnost zbog utjecajnih veličina
  - f. nesigurnost zbog izvora napajanja za pretvornike sa signalima niske razine
  - g. nesigurnost zbog modeliranja (standardno odstupanje procijenjeno na mjerenoj veličini)
  - h. nesigurnost zbog procjene ispravka visine stupca između mjerila koje se umjerava i referentnog mjerila.
2. Za barometar s digitalnim ili analognim pokazivanjem:
  - a. nesigurnost referentnog mjerila u uvjetima uporabe
  - b. nesigurnost zbog ponovljivosti
  - c. nesigurnost zbog razlučivanja mjerila koje se umjerava
  - d. nesigurnost zbog reverzibilnosti (histereze) mjerila koje se umjerava
  - e. nesigurnost zbog procjene ispravka visine stupca između mjerila koje se umjerava i referentnog mjerila.

Mjerne nesigurnosti pridružene ulaznim veličinama razvrstavaju se u dvije kategorije u skladu s načinom na koji su određene:

1. Tip A - Vrijednost i pridružena mjerna nesigurnost određuju se metodama statističke analize niza mjerenja provedenih pod uvjetima ponovljivosti
2. Tip B - Vrijednost i pridružena mjerna nesigurnost određuju se na temelju drugih podataka (prijašnjih mjernih podataka, općega znanja i iskustva sa svojstvima i ponašanjem mjerila, specifikacija proizvođača, potvrda o umjeravanju ili drugih potvrda, referentnih podataka uzetih iz priručnika)

### 5.2.1. Izračun nesigurnosti

U ovom radu nesigurnost je izračunata tako da je niz rastućih i niz padajućih tlakova mjerenja analiziran posebno svaki za sebe. S takvom metodom povećana mjerna nesigurnost se računa preko formule:

$$U_{rastući,padajući} = k \sqrt{u_{etalona}^2 + u_{razlučivanja}^2 + u_{pogreške u ništici}^2 + u_{ponovljivosti}^2}$$

U primjenama predmeta umjeravanja često je korisno kombinirati povećanu nesigurnost  $U$  s pogreškom  $\Delta p$ . To omogućuje dobivanje podataka o najvećem odstupanju jednoga mjernog rezultata od ispravne vrijednosti. Za tu se svrhu može definirati raspon pogreške  $U'$ :

$$U'_{rastući,padajući} = U_{rastući,padajući} + |\Delta p|$$

Raspon pogreške najveća je razlika koja se očekuje između izmjerene vrijednosti i dogovorene istinite vrijednosti mjerene veličine. Raspon pogreške može se upotrebljavati u tehničkim specifikacijama za opis točnosti mjerila koje se umjerava.

Da bi se izračunala nesigurnost srednje vrijednosti niza rastućih i padajućih tlakova mora se uključiti doprinos djelovanja histereze:

$$U_{rastući,padajući} = k \sqrt{u_{etalona}^2 + u_{razlučivanja}^2 + u_{pogreške u ništici}^2 + u_{ponovljivosti}^2 + u_{histereze}^2}$$

## 6. Rezultati umjeravanja s pripadajućim mjernim nesigurnostima

Kao što je već prije navedeno mjerenja su rađena na 3 mjerila, jednoj Ruski i dvije Vaisale. U ovom poglavlju će biti prikazane tablice sa rezultatima mjerenja, te tablice i dijagrami u kojima je prikazana mjerna nesigurnost.

Za sva tri mjerenja tlak pirani (objašnjeno u poglavlju u 4.1.3.) je bio  $p_r = 5 \cdot 10^{-3}$  mbar, samo je u prvom mjerenju kod Ruske (za narinuti tlak  $p=100$ mbar) bio  $p_r = 7 \cdot 10^{-3}$  mbar. Temperatura sklopa koja se mijenjala u svakom mjerenju je poslije svih mjerenja osrednjena na vrijednost  $T=24,7$  °C.

U tablici 6.1. su prikazane vrijednosti etalonskog tlaka za prvo uzlazno mjerenje, koji se određuje preko utega koji sami stavljamo na tlačnu vagu, te se preko posebnih izračuna određuje točan tlak koji kasnije mjerimo sa umjeravanim mjerilima i uspoređujemo ga sa izmjerenim vrijednostima kako bi dobili mjernu nesigurnost. U tablici 6.2. su prikazane vrijednosti za silazno mjerenje.

Tablica 6.1. Vrijednosti etalonskog tlaka  $p_e$  u prvom uzlaznom mjerenju

Broj ispitnih točaka	Tlak $p$	Temperatura sklopa	Tlak ispod zvona (pirani tlak)	Apsolutni tlak	Etalonski tlak
	$p$	$T$	$p_r$	$p_a$	$p_e$
	bar	°C	Pa	bar	bar
1	0,10	23,4	0,7	0,100019	<b>0,099999</b>
2	0,50	23,4	0,5	0,500070	<b>0,499998</b>
3	0,90	23,6	0,5	0,900122	<b>0,899984</b>
4	0,95	23,6	0,5	0,950128	<b>0,949993</b>
5	0,97	23,8	0,5	0,970130	<b>0,969991</b>
6	1,00	23,8	0,5	1,000135	<b>0,999992</b>
7	1,02	24,0	0,5	1,020137	<b>1,019990</b>
8	1,05	24,0	0,5	1,050141	<b>1,049989</b>
9	1,10	24,0	0,5	1,100148	<b>1,099989</b>
10	1,50	24,2	0,5	1,500201	<b>1,499983</b>
11	2,00	24,2	0,5	2,000262	<b>1,999973</b>
12	2,50	24,4	0,5	2,500325	<b>2,499962</b>

Tlak  $p$  je vrijednost koju pretpostavljamo zbrajanjem mase utega stavljenih u tlačnu vagu. Te vrijednosti utega se ne mjere nego su već određene tako da znamo već unaprijed masu svakog utega.

Tablica 6.2. Vrijednosti etalonskog tlaka  $p_e$  u silaznom mjerenju

Broj ispitnih točaka	Tlak $p$	Temperatura sklopa	Tlak ispod zvona (pirani tlak)	Apsolutni tlak	Etalonski tlak
	$p$	$T$	$p_r$	$p_a$	$p_e$
	bar	°C	Pa	bar	bar
1	0,10	24,5	0,7	0,100019	<b>0,099998</b>
2	0,50	24,5	0,5	0,500071	<b>0,499993</b>
3	0,90	24,7	0,5	0,900122	<b>0,899985</b>
4	0,95	24,7	0,5	0,950128	<b>0,949984</b>
5	0,97	24,7	0,5	0,970130	<b>0,969984</b>
6	1,00	24,7	0,5	1,000135	<b>0,999984</b>
7	1,02	24,9	0,5	1,020136	<b>1,019982</b>
8	1,05	24,9	0,5	1,050139	<b>1,049981</b>
9	1,10	24,9	0,5	1,100146	<b>1,099980</b>
10	1,50	25,1	0,5	1,500195	<b>1,499971</b>
11	2,00	25,1	0,5	2,000254	<b>1,999957</b>
12	2,50	25,1	0,5	2,500316	<b>2,499946</b>

Srednju temperaturu sklopa sam dobio osrednjivanjem vrijednosti u tri različita mjerenja od koja su dva prikazana tablicama, te sam preko nje dobio vrijednosti etalonskog tlaka koji samo koristio za računanje nesigurnosti umjeravanja i one su prikazane u tablici 6.3.

Tablica 6.3. Korištene (srednje) vrijednosti tlaka  $p_e$

Broj ispitnih točaka	Tlak $p$	Temperatura sklopa	Tlak ispod zvona (pirani tlak)	Apsolutni tlak	Etalonski tlak
	$p$	$T$	$p_r$	$p_a$	$p_e$
	bar	°C	Pa	bar	bar
1	0,10	24,7	0,7	0,100019	<b>0,099997</b>
2	0,50	24,7	0,5	0,500070	<b>0,499992</b>
3	0,90	24,7	0,5	0,900122	<b>0,899985</b>
4	0,95	24,7	0,5	0,950128	<b>0,949984</b>
5	0,97	24,7	0,5	0,970130	<b>0,969984</b>
6	1,00	24,7	0,5	1,000135	<b>0,999984</b>
7	1,02	24,7	0,5	1,020137	<b>1,019983</b>
8	1,05	24,7	0,5	1,050141	<b>1,049982</b>
9	1,10	24,7	0,5	1,100148	<b>1,099980</b>
10	1,50	24,7	0,5	1,500201	<b>1,499977</b>
11	2,00	24,7	0,5	2,000262	<b>1,999964</b>
12	2,50	24,7	0,5	2,500325	<b>2,499955</b>

## 6.1. Ruska 6200

*Proizvođač: Ruska*

*Tvornički broj: L0128*

*Tip: 6200*

*Mjerno područje: 0-2600 mbar*

*Jedinica tlaka: mbar*

*Podjela skale: 0,01 mbar*

*Vlasnik mjerila: FSB-LPM*

*Radni etalon: TLVAG 09*

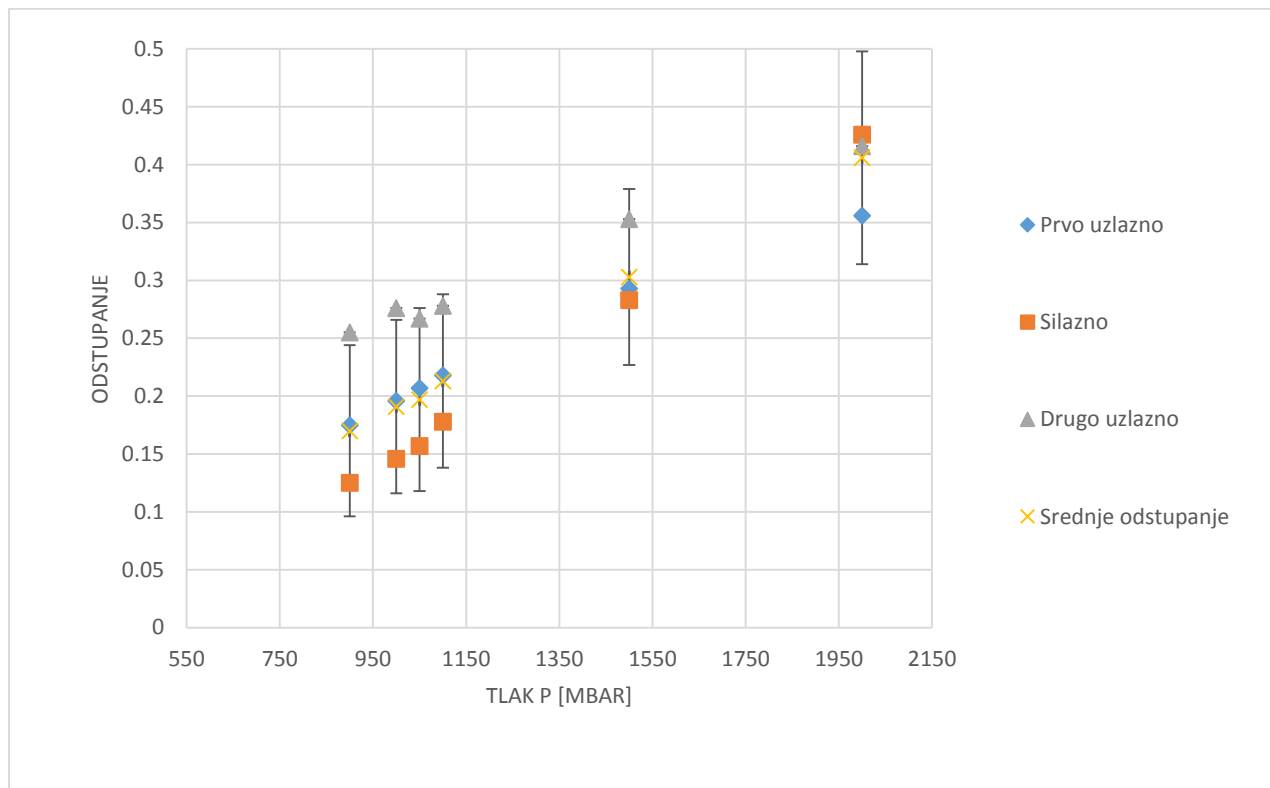
Tablica 6.4. Rezultati umjeravanja za Ruska 6200

Broj ispitnih točaka	Tlak etalona $p_e$ mbar	Pokazivanje mjerila			Odstupanje $M-p_e$ mbar	Ponovljivost $b$ mbar	Histereza $h$ mbar	Nesigurnost umjeravanja $U$ mbar
		Uzlazno mbar	Silazno mbar	Uzlazno mbar				
1	99,997	99,960	99,980	99,990	-0,020	0,030	0,020	<b>0,025</b>
2	499,992	500,120	500,020	500,180	0,093	0,060	-0,100	<b>0,074</b>
3	899,985	900,160	900,110	900,240	0,170	0,080	-0,050	<b>0,075</b>
4	999,984	1000,180	1000,130	1000,260	0,191	0,080	-0,050	<b>0,079</b>
5	1049,983	1050,190	1050,140	1050,250	0,197	0,060	-0,050	<b>0,075</b>
6	1099,982	1100,200	1100,160	1100,260	0,213	0,060	-0,040	<b>0,076</b>
7	1499,977	1500,270	1500,260	1500,330	0,303	0,060	-0,010	<b>0,092</b>
8	1999,964	2000,320	2000,390	2000,380	0,406	0,060	0,070	<b>0,125</b>
9	2499,955	2500,360	2500,420	2500,430	0,453	0,070	0,060	<b>0,151</b>

U tablici 6.2. prikazane su vrijednosti koje smo očitavali tokom mjerenja, prosječno odstupanje (razlika srednje vrijednosti mjerenja i tlaka etalona), ponovljivost (razlika između drugog i prvog uzlaznog mjerenja), histereza (razlika između silaznog i prvog uzlaznog mjerenja) i nesigurnost umjeravanja koja je izračunata posebnim postupkom koji je prikazan u tablici 6.3.. Postupak računanja nesigurnosti umjeravanja je prikazan samo za ispitnu točku 4. (vrijednost 1000mbar).

Tablica 6.5. Izračunavanje nesigurnosti umjeravanja (Ruska 6200)

Točka 4	$p_4 = 999,984 \text{ mbar}$				
Utjecajna veličina	Izvor	Podaci	Vrijednost u bar/mbar	Faktor	$u^2$ u bar <sup>2</sup>
Etalon	iz umjernice	0,0499992	0,0499992	0,5	0,00062498
Etalon pod uvjetima ispitivanja	iz mjerenja	0,0219996	0,0219996	0,57737	0,00016134
Razlika visina	iz mjerenja	41,921548	0,0004192	0,57737	0,00000006
Razlučljivost (kod električnih)	Indikacija	0,01	0,01	0,2887	0,00000833
Odstupanje od nultčke	iz mjerenja	0,020	0,020	0,2887	0,00003334
Ponovljivost	iz mjerenja	0,080	0,08	0,2887	0,00053343
Histereza	iz mjerenja	-0,050	-0,050	0,2887	0,00020837
suma $u^2$					0,00156985
$U_4 =$					<b>0,07924255</b>



Slika 6.1. Dijagram odstupanja i nesigurnosti umjeravanja u odnosu na mjereni tlak (Ruska 6200)

Dijagram na slici 6.1. pokazuje vrijednosti odstupanja izmjerenog tlaka (za sva tri slučaja, dva uzlazna i jedan silazni) u odnosu na tlak etalona. Zadnja točka označava srednje odstupanje koje je izračunato oduzimanjem srednje vrijednosti izmjerenih veličina od vrijednosti etalonskog tlaka. Od srednjeg odstupanja su povučene dvije okomite linije (prema minusu i prema plusu) čije su vrijednosti, vrijednosti nesigurnosti mjerenja. Izračun nesigurnosti umjeravanja je prikazan u tablici 6.5.

## 6.2. Vaisala

### 6.2.1. Vaisala PTB 330

*Proizvođač: Vaisala*

*Tvornički broj: E2040002*

*Tip: PTB 330*

*Mjerno područje: 500-1100 mbar*

*Jedinica tlaka: mbar*

*Podjela skale: 0,01 mbar*

*Vlasnik mjerila: FSB-LPM*

*Radni etalon: TLVAG 09*

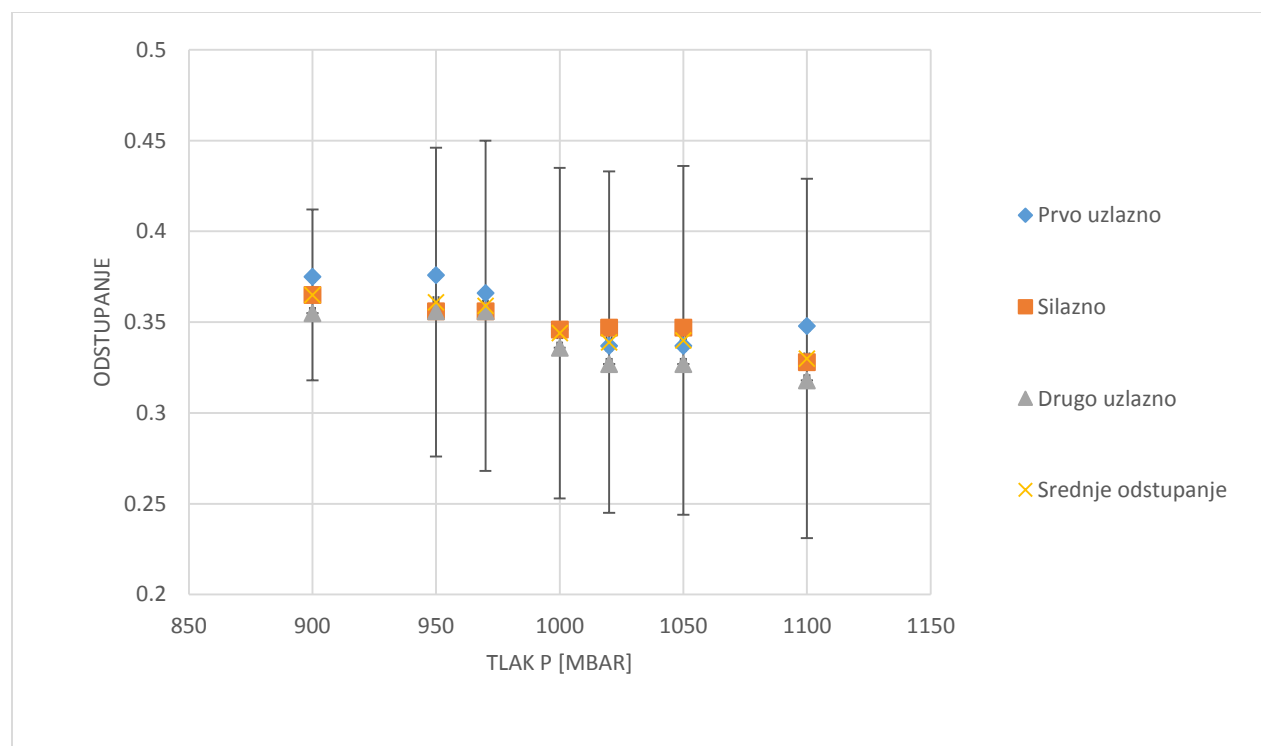
Tablica 6.6. Rezultati umjeravanja za Vaisala PTB 330

Broj ispitnih točaka	Tlak etalona $p_e$ mbar	Pokazivanje mjerila			Odstupanje $M-p_e$ mbar	Ponovljivost $b$ mbar	Histereza $h$ mbar	Nesigurnost umjeravanja $U$ mbar
		Uzlazno mbar	Silazno mbar	Uzlazno mbar				
1	499,992	500,440	500,440	500,440	0,448	0,000	0,000	<b>0,047</b>
2	899,985	900,360	900,350	900,340	0,365	-0,020	-0,010	<b>0,085</b>
3	949,984	950,360	950,340	950,340	0,361	-0,020	-0,020	<b>0,091</b>
4	969,984	970,350	970,340	970,340	0,359	-0,010	-0,010	<b>0,091</b>
5	999,984	1000,330	1000,330	1000,320	0,344	-0,010	0,000	<b>0,094</b>
6	1019,983	1020,320	1020,330	1020,310	0,339	-0,010	0,010	<b>0,096</b>
7	1049,983	1050,320	1050,330	1050,310	0,340	-0,010	0,010	<b>0,099</b>
8	1099,982	1100,330	1100,310	1100,300	0,330	-0,030	-0,020	<b>0,105</b>



Tablica 6.7. Izračunavanje nesigurnosti umjeravanja (Vaisala PTB 330)

Točka 5	$p_5 = 999,984 \text{ mbar}$				
Utjecajna veličina	Izvor	Podaci	Vrijednost u bar/mbar	Faktor	$u^2$ u bar <sup>2</sup>
Etalon	iz umjernice	0,0899985	0,0899985	0,5	0,00202493
Etalon pod uvjetima ispitivanja	iz mjerenja	0,0219996	0,0219996	0,57737	0,00016134
Razlika visina	iz mjerenja	41,921548	0,0004192	0,57737	0,00000006
Razlučljivost (kod električnih)	Indikacija	0,01	0,01	0,2887	0,00000833
Odstupanje od nultoeke	iz mjerenja	0,000	0,000	0,2887	0,00000000
Ponovljivost	iz mjerenja	-0,010	-0,01	0,2887	0,00000833
Histereza	iz mjerenja	0,000	0,000	0,2887	0,00000000
suma $u^2$					0,00220300
$U_5 =$					<b>0,09387228</b>



Slika 6.2. Dijagram odstupanja i nesigurnosti umjeravanja u odnosu na mjereni tlak (Vaisala PTB 330)

### 6.2.2. Vaisala PTB 220

*Proizvođač: Vaisala*

*Tvornički broj: T5040009*

*Tip: PTB 220*

*Mjerno područje: 500-1100 mbar*

*Jedinica tlaka: mbar*

*Podjela skale: 0,01 mbar*

*Vlasnik mjerila: FSB-LPM*

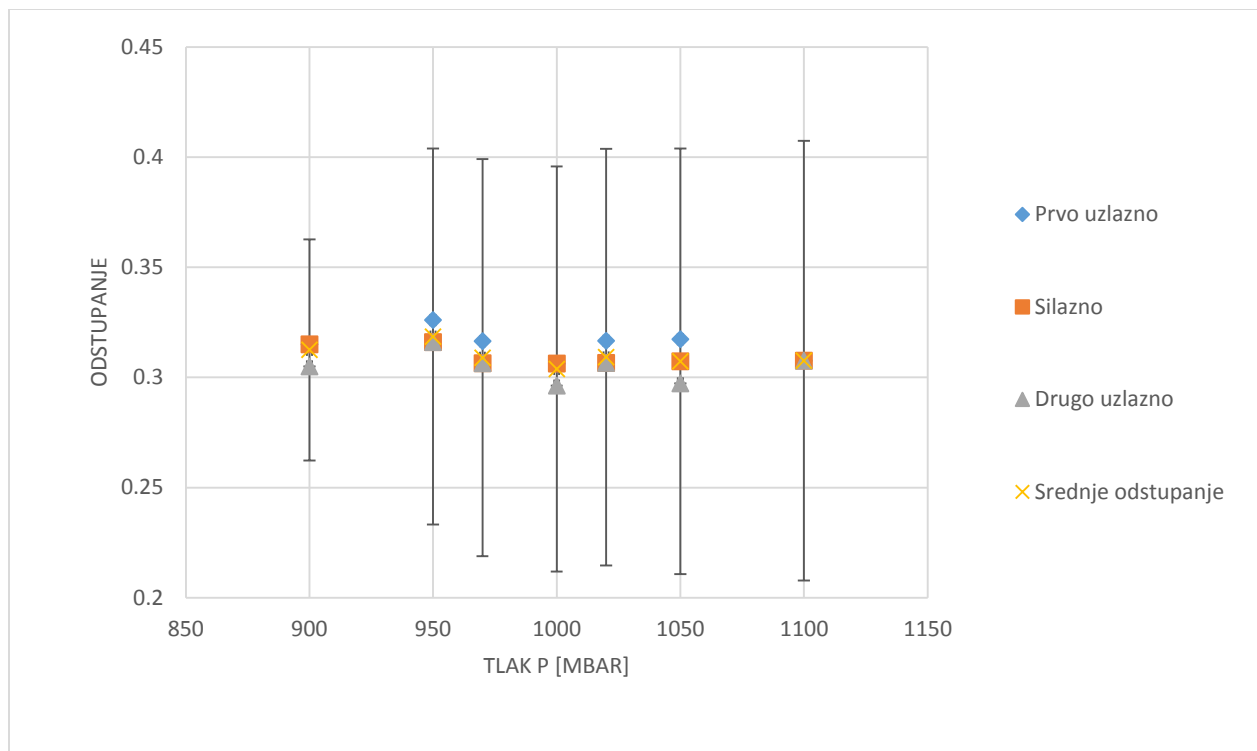
*Radni etalon: TLVAG 09*

Tablica 6.8. Rezultati umjeravanja za Vaisala PTB 220

Broj ispitnih točaka	Tlak etalona $p_e$ mbar	Pokazivanje mjerila			Odstupanje $M-p_e$ mbar	Ponovljivost $b$ mbar	Histereza $h$ mbar	Nesigurnost umjeravanja $U$ mbar
		Uzlazno mbar	Silazno mbar	Uzlazno mbar				
1	499,992	500,310	500,290	500,300	0,305	-0,010	-0,020	<b>0,050</b>
2	899,985	900,300	900,300	900,290	0,313	-0,010	0,000	<b>0,085</b>
3	949,984	950,310	950,300	950,300	0,319	-0,010	-0,010	<b>0,090</b>
4	969,984	970,300	970,290	970,290	0,309	-0,010	-0,010	<b>0,092</b>
5	999,984	1000,290	1000,290	1000,280	0,304	-0,010	0,000	<b>0,095</b>
6	1019,983	1020,300	1020,290	1020,290	0,309	-0,010	-0,010	<b>0,097</b>
7	1049,983	1050,300	1050,290	1050,280	0,307	-0,020	-0,010	<b>0,100</b>
8	1099,982	1100,290	1100,290	1100,290	0,308	0,000	0,000	<b>0,104</b>

Za izračunavanje nesigurnosti umjeravanja kod Vaisale PTB 220 se provodi potpuno isti postupak kao i za izračunavanje nesigurnosti umjeravanja kod Vaisale PTB 330 i kod Ruske 6200.

Na obje Vaisale postoje dva mjerna ulaza, a s tim i dva ekrana za očitavanje (lijevi i desni). Mjerenja sam radio za oba ulaza, ali rezultati su prikazani samo za lijevi ulaz jer je razlika u očitanju u stotinki mbar. Za oba ulaza se provodi potpuno isti postupak umjeravanja, očitavanja vrijednosti i izračuna nesigurnosti umjeravanja. Dijagramima na slici 6.2. i slici 6.3. prikazani su odnosi odstupanja i nesigurnosti umjeravanja za mjerene tlakove također za lijevu stranu mjerila. Opis prikazanih točaka je isti kao i za dijagram na slici 6.1..



Slika 6.3. Dijagram odstupanja i nesigurnosti umjeravanja u odnosu na mjereni tlak (Vaisala PTB 220)

## 7. Zaključak

U ovom radu je prikazane su osnove umjeravanja, metode umjeravanja (DKD-R6-1 i EURAMET/cg 17) te računanje nesigurnosti umjeravanja za tri različita mjerna uređaja (barometra). Umjeravanje je provedeno u Laboratoriju za procesna mjerenja na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

Umjeravanje se provodilo preko tlačne vage, za uređaje Ruska 2600, Vaisala PTB 330, te Vaisala PTB 220. Preko tlačne vage smo za svako mjerenje mijenjali tlak etalona (narinuti tlak na mjerila) sa utezima, čije su mase već određene, te se preko tih vrijednosti u tablicama računao tlak etalona.

Svaki uređaj ima svoje mjerno područje, te se tako iz dijagrama, koji pokazuju odstupanja i nesigurnosti umjeravanja u odnosu na narinuti tlak, moglo zaključiti da što smo dalje od specificiranog područja, koji će kasnije služiti za mjerenje atmosferskog tlaka, nesigurnost umjeravanja se povećava. Nadalje, gledajući dijagrame, može se vidjeti da je najmanju nesigurnosti umjeravanja imao uređaj Vaisala PTB 220, što znači da je on bio najbolje kalibriran prije samih mjerenja i izračunavanja nesigurnosti umjeravanja.

## 8. POPIS LITERATURE

- [1] Antun Galović: Termodinamika I, Zagreb 2004.
- [2] <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=2712> - aneroid
- [3] <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=50257> - pretvornik
- [4] Guideline DKD-R 6-1, Calibration of Pressure Gauges, Edition 01/2003
- [5] Guidelines on the Calibration of Electromechanical Manometers, EURAMET/cg-17/v.01, July 2007
- [6] Upute za umjeravanje elektromehaničkih manometara, EURAMET/cg-17/v.01
- [7] JCGM 100 – Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (ISO/IEC Guide 98-3)
- [8] Guide to the Measurement of Pressure and Vacuum, The Institute of Measurement and Control London, 1998